

工地电缆沟开挖对邻近既有管线的影响分析及保护技术

郭华涛

广东格朗电力工程有限公司 广东 东莞 523000

【摘要】：在城市地下空间高度集约利用的背景下，电缆沟开挖卸荷会显著地对邻近的既有管线造成扰动，进而诱发附加沉降、水平位移以及不均匀变形等情况，从而威胁到管线的安全运行。本文对开挖卸荷所引发的地层位移规律以及不同管材变形响应特性进行系统分析，揭示了侧向位移对管线弯曲以及接口应力的控制作用。基于数值模拟，探讨了开挖深度、土质条件、支护形式及管线与开挖边缘距离等因素对管线位移的敏感性，结果表明：采用钢板桩与隔离桩联合支护可降低管线最大位移约30%~50%，且净距减小会让位移出现指数级上升的情况。进一步提出了分级分区协同保护技术，通过现场监测来验证了钢板桩以及隔离桩的方案是有效的，实测结果和模拟结果拟合较好，位移处在允许的范围中，研究成果能够为类似工程当中的既有管线的安全评估以及变形控制提供理论依据以及技术参考。

【关键词】：电缆沟开挖；既有管线；变形控制；钢板桩；隔离桩；数值模拟

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.061

1 引言

在城市基础设施快速更新与存量地下空间不断叠加利用的背景下，电力、电信、燃气、自来水、热力等多个专业的管线集聚在道路红线以内，呈现出“多层次叠置、平面密织、纵向交错”的布置特性。工地新建电缆沟时，通常会在既有道路或者建筑物周边的狭小场地开展开挖作业，对局部土体的应力场以及变形场进行重新分配，这就容易导致近旁既有管线出现附加沉降水平位移以及不均匀变形。如果开挖深度接近或者超过邻近管线的埋深，并且管线以及沟槽边缘的距离较小，同时土体是软弱的或者是高压缩性的，变形放大效应会更加突出，更容易诱发接口开裂支墩失稳、管体弯折、支吊架失效等工程病害，会影响到电力输配、电信传输以及市政供排系统的安全连续运行。因此，如何在保证施工效率和成本的情况下，将开挖扰动对邻近管线造成的不利影响控制在允许范围内，已经成为开展施工组织设计、风险源辨识以及安全技术交底中的核心问题之一，同时也是工程管理部门编制技术标准和监管细则的重要工程需求。

2 电缆沟开挖对邻近管线的力学影响机理

2.1 开挖卸荷引起的地层位移规律

当开挖工地电缆沟时，开挖面侧向土体的卸荷以及应力的重分布打破了原有的应力场，进而形成了指向沟槽空间的水平位移场，让局部地层产生向坑内“拱入”的变形。城市地下管线大多沿着道路平行布设，其埋深和电缆沟相近。原本处于相对均匀土压力环境当中的管线，要是一侧土体应力被削弱，而另一侧还保持原始约束时，会承受不对称的侧压力，表现出来的是横向弯曲以及附加沉降所组合而成的变形。在中浅埋管线中，侧向位移会使得弯曲半径显著减小，这样就容易在接口、

弯头以及管托这些地方形成应变集中；深埋管线受到上覆土体约束的程度比较强，其外表的变形比较小，但管壁内力的增长较为明显。现场工程经验表明，当开挖宽度以及深度处于一定状态时，管线变形峰值通常会和侧向位移峰值区间相对应，并非和竖向沉降槽中心完全重合，这也就说明控制侧向土体位移是邻近管线保护的关键所在。

2.2 不同管材管线的变形响应特征

不同管材在电缆沟开挖所造成的非均匀变形场当中会表现出较显著的差异，柔性管线（比如PE管、波纹管以及包覆保温层的钢塑复合管）其整体弯曲刚度较小，依靠和周围土体接触产生的摩阻共同开展工作。如果地层产生差异沉降，管线可以借助自身的弯曲以及和土体界面进行滑移来分担变形，但是在接口、热熔焊缝以及和井室连接的部位，鉴于截面突变以及约束增强，经常会形成相对刚性的段落，从而导致局部曲率出现急剧的变化，容易出现拉伸裂纹的情况，或者是套管以及母管之间发生脱空的现象。柔性管道一旦出现“悬空段”，自重及内部介质荷载作用下会进一步放大挠度，引发次生弯曲，表现为持续发展的沉降波形。刚性管线（铸铁管、混凝土管、老旧砖砌管），由于材料拉伸以及弯曲变形能力有限，在开挖边界附近受到侧向应力重分布的影响，容易形成明显的弯矩和剪力集中，尤其是在接口承口、管节接缝以及局部加固位置会产生高应力区。

3 基于数值模拟的管线位移响应分析

3.1 不同开挖深度与土质条件的影响

数值分析以及现场经验显示，电缆沟开挖的深度和邻近既有管线的沉降以及水平位移呈现出显著的放大关系。如果深度

增大,那就会使开挖面土体应力重分布的范围向下向外进行扩展,从而使得覆土减薄区当中的土体抗力出现了显著的衰减。当中等埋深且未整体加固管线,开挖深度每增加一定比例时,沉降槽形态会从“窄而陡”逐渐转变为“宽而缓”,并且管线轴线会出现更大的非均匀沉降以及附加弯矩,局部接口以及节点部位会更容易出现张拉开裂以及错台。深开挖时,如果电缆沟侧向支护的刚度不够,坑外地表的位移就会向远处扩展,浅埋的管线主要是以控制水平位移,而深埋的管线就是竖向沉降以及弯曲叠加变形的情况,形成“上拉下压”的复合受力状态,这会对运行安全构成较大的威胁。

不同的土质条件对于上面所说的放大效应会有显著的调制作用。在软黏土以及高孔隙比粉土中,由于其剪切模量比较低、固结时间比较长,开挖卸荷以后的变形具有延迟放大的特性,施工完成之后,管线的沉降以及水平位移仍然有可能持续增长,呈现出“缓变型”的风险;在密实砂土以及碎石土当中,位移峰值形成得比较快,管线响应集中在开挖阶段。不过当支护出现局部失稳时,土体拱效应会马上遭到破坏,管线位移会出现突变并释放出来。经过综合考虑开挖深度、土层抗剪强度、压缩性以及渗透性差异,可以把管线变形控制重点从单一的“限制开挖深度”拓展为“深度-土质-支护刚度”联合优化,对分层开挖厚度进行调整,设置减荷平台,并且在软弱土层当中布置加固体,以此减小卸荷区范围以及塑性区向管线方向的发展,从而抑制沉降以及水平位移的放大效应。

3.2 支护形式对管线变形的控制效果

数值模拟结果显示,在其他条件相同的情况下,采用钢板桩支护结合隔离桩的复合支护体系,能够显著提高开挖的侧向刚度,并减小土体塑性区朝着管线方向扩展的范围。钢板桩形成连续刚性挡墙,削弱了坑外地表拱起以及向坑侧移动的趋势;隔离桩在管线与基坑之间形成“刚性屏障”,切断了部分剪应变的传递路径,降低管线轴线所附加的弯矩以及剪力的峰值。对比不同工况,如果单独采用普通放坡或者柔性支护,管线的最大水平位移以及竖向沉降会集中在电缆沟边缘附近,变形曲线呈现出“陡峰型”;运用钢板桩并且辅以隔离桩,变形峰值能够明显地被压低,并且向远离管线的一侧内移,管线沿线的变形分布会从高度不均匀转化为相对平缓,最大位移可以降低大约30%-50%,管线路由敏感区的应力水平显著下降,结构安全储备得到提升。

3.3 管线与开挖边缘距离的敏感性分析

数值计算与参数分析表明,既有管线与电缆沟开挖边缘的水平净距是决定变形水平与安全储备的敏感控制量。在土性、埋深和支护形式相同的条件下,净距每减少1m管线所产生的最大水平位移以及附加沉降都会近似以指数或者幂函数上升。

开挖扰动通过土体应力重分布以及剪切区扩展来传递至管线。净距小管线经常处于塑性区或者强影响区,其轴线弯曲半径会显著减小,拉压应力交替分布的情况会加剧,接头、弯头等薄弱方面会更容易出现开裂以及错台的情况。在工程设计阶段,要把“合理隔离距离”作为和开挖深度一样重要的约束条件,借助调整沟槽位置或者优化管线路由,让关键管线尽可能布置于剪应变快速衰减区,和单纯加大支护刚度相比,优先增加净距以降低初始风险,会更契合经济性以及稳健性的特性。如果场地受限,无法满足推荐净距的工点,就需要开展叠加高刚度支护以及隔离桩、降低分层开挖高度、加强水位控制以及全过程监测预警等综合措施,实现距离优化与结构加固协同的保护体系。

4 保护技术方案设计与工程验证

4.1 钢板桩与隔离桩联合支护方案

本工程运用钢板桩以及隔离桩联合支护思路来优化数值模拟,从而能够有效控制邻近既有管线的位移。建立含电缆沟开挖、支护结构以及既有管线的三维有限元模型,将钢板桩入土深度、桩间距、刚度参数以及隔离桩与管线相对位置当作参数来开展多方案组合计算,获取管线竖向沉降、水平位移以及弯矩分布的变化规律。计算结果显示,把钢板桩入土深度适当增加、将桩间距减小,就可以显著降低开挖时侧向土体的位移。把隔离桩布置在管线外缘一定距离以内,能够有效削弱土体卸荷对于管线所产生的直接扰动,形成“开挖—支护—管线”多道防护体系。

在参数敏感性分析基础上,对比不同工况下既有管线变形控制指标,进一步提出以钢板桩控制整体土体水平位移、以隔离桩承担局部隔离与分担荷载的协同受力模式,对隔离桩的桩径以及桩顶高程进行调整,让它与钢板桩冠梁形成连续的受力传递路径,这样可以减小管线上方土拱效应变化所带来的附加弯曲。结合现场施工条件,把数值模拟推荐的支护参数进行量化,转化为施工控制指标,比如钢板桩最小埋深、最大桩间距以及隔离桩与管线最小安全净距,为后续开展现场支护方案的比选工作以及实时监测报警阈值的设定工作提供依据。

4.2 现场监测数据与模拟结果对比

为了验证联合支护优化参数的合理性,将在电缆沟开挖的全程开展管线三维监测点的布置,借助静力水准仪以及全站仪分别去处理竖向沉降以及水平位移的测量,并且将其和对应工况的有限元分析结果来进行对比。监测结果显示,管线的最大沉降以及水平位移会滞后于开挖面的推进。在钢板桩封闭成槽、隔离桩完成成孔灌注之后,变形速率得以显著降低,这和数值模拟当中土体侧向位移被有效约束的趋势基本上是一致的。

的。模型计算的数值稍微比实测值大一些,这可以看作是对不利工况偏安全的估计。在距离开挖边缘比较近的管段,模拟以及实测位移的差值稍微有所增加,这反映出了现场土体分层结构以及回填密实度存在局部的差异。

在保护方案有效性评价方面,通过对比各个监测断面的实测和模拟变形包络得知,当钢板桩以及隔离桩协同作用时,管线的沉降以及水平位移都被控制在设计所允许的范围中,没有出现局部的突变以及显著差异的集中区域。差值整体处于可接受的区间当中,这表明数值模型的土体变形以及管线响应预测的能力较好,可以用来开展后续类似工程方案的比选以及参数的修正,能为既有管线在复杂施工条件下的安全评估提供量化的依据。

4.3 多类型管线协同保护技术建议

在多类型管线的协同保护当中,需要根据柔性管以及刚性管在受力机理和变形容许度方面存在的差异,来实施分级、分区的控制策略。针对 PE、PVC、球墨铸铁等柔性或者半柔性管线,可以通过它们的变形能力,依靠提高覆盖土厚度、增设柔性垫层以及砂石级配垫层,来形成“软垫-软管”协同体系,削减开挖卸荷传递的应力集中并结合预留可控沉降量的原则,控制纵向不均匀沉降梯度。对于混凝土以及铸铁等刚性管线,需要重点限制水平位移以及角变形,把连续钢板桩或者隔离桩布设在临近开挖侧,以此构成高刚度屏障。同时在管顶和管侧来设置薄层可压缩材料,形成了“刚支护-刚管-软包裹”组合结构,实现降低弯曲拉应力以及接头开裂风险的目的。

空间统筹方面,会根据不同管线的材质、直径以及埋深来

划分差异化的控制分区:对于刚性主干管区,会优先布置高等级支护,同时把电缆沟的走向进行调整,从而减少平行距离;柔性支线密集的区域,可以开展分段开挖以及跳槽施工,同时配合实时监测,把柔性管位移控制指标设置得略大于刚性管以体现安全储备的差别。同时,针对交叉、叠置的管线设置集中加固节点,运用局部钢筋混凝土包封、抱箍加固或者可拆卸托撑等措施,保证在任一管线出现异常位移时,其余管线拥有独立的安全冗余,进而形成了整体协同的防护体系。

5 结语

本文围绕工地电缆沟开挖对于邻近既有管线所产生的影响机理以及保护技术进行系统性的研究。对开挖卸荷所引起的地层位移规律进行分析,明确侧向土体应力重分布是管线弯曲以及接口应力的关键因素。数值模拟定量揭示了开挖深度、土质条件、支护形式及管线与开挖边缘净距对管线位移的显著放大效应,指出软黏土中变形具有延迟特征,净距进入 1.0~1.5 倍开挖深度范围时处于高敏感带,需要同时将距离优化以及支护刚度的提升进行综合考量。钢板桩以及隔离桩的联合支护,可以形成“开挖-支护-管线”多道防护体系,把变形峰值降低 30%-50%,现场监测和模拟结果的一致性良好,验证了该保护方案有效性以及可靠性。鉴于管材受力存在差异,提出柔性管的“软垫-软管”协同,以及刚性管“刚支护-刚管-软包裹”分级分区控制策略,并且给出交叉节点局部加固整体协同防护的建议。研究成果能够为城市密集管线环境中的电缆沟施工设计、风险源辨识以及安全管控工作提供量化依据,同时还可以为相关技术标准与监管细则的完善提供工程参考。

参考文献:

- [1] 严淞水,李泽宇.电力施工中电缆沟土建的施工技术研究[J].标准生活,2025,(S1):143-145.
- [2] 姜来亮,李文建.电力工程中电缆沟施工与新技术应用的研究与实践[J].居业,2025,(4):25-27.
- [3] 石菲.220kV 变电站站内电缆沟及电缆隧道施工技术探析[J].电力设备管理,2025,(4):228-230.
- [4] 康帅.110 kV 高压电缆沟横跨深基坑原位保护施工技术[J].智能城市,2024,10(9):122-124.
- [5] 张加将.电力施工中电缆沟土建的施工技术比较分析[C]//中国智慧工程研究会.2024 人工智能与工程管理学术交流会论文集.[出版者不详],2024:100-102.